LWOWSKIE

CZASOPISMO LOTNICZE

PRACE

LABORATORIUM AERODYNAMICZNEGO I INSTYTUTU TECHNIKI SZYBOWNICTWA I MOTOSZYBOWNICTWA POLITECHNIKI LWOWSKIEJ

DODATEK DO Nr 10 z 1936 r.	LWÓW, W MAJU 1939.

DODATEK DO Nr 10 z 1936 r. LWÓW, W MAJU 1939 r.

LWOWSKIE
CZASOPISMO LOTNICZE
PRACE
LABORATORIUM AERODYNAMICZNEGO I INSTYTUTU TECHNIKI SZYBOWNICTWA I MOTOSZYBOWNICTWA POLITECHNIKI LWOWSKIEJ

PRACE INSTYTUTU TECHNIKI SZYBOWNICTWA I MOTOSZYBOWNICTWA

Inż. ZBIGNIEW LELIWA-KRZYWOBŁOCKI

Możliwości zastosowania rakiet prochowych w lotnictwie.

Les possibilités d'emploi des fusées à poudre dans l'aviation.

II.

Możliwości zastosowania rakiet prochowych w lotnictwie „wodującym".

Les possibilités d'emploi des fusées à poudre dans l'aviation „amerissant".

Le présent article est la deuxième partie de l'article „Les possibilités d'emploi des fusées à poudre dans l'aviation" qui est paru dans le numero 10 de „Lwowskie Czasopismo Lotnicze" (année IV, 1936). Dans l'article précédent l'auteur a examiné l'emploi des fusées à poudre dans l'aviation terrestre; dans le présent article, l'auteur examine l'emploi des fusées à poudre dans l'aviation „amerrissant". L'auteur calcule la longueur et le temps du décollage d'un hydroplaneur, d'un hydro-motoplaneur et des hydravions plus lourds, militaires et de transport. En se basant sur les calculs, l'auteur en vient à la conclusion que l'emploi des fusées peut réduire la longueur et le temps du décollage de 40 % environ. Le poids des fusées nécessaires à cet effet est relativement faible.

Przegląd treści:

WSTĘP.

Poniższy artykuł jest drugą częścią artykułu p. t. „Możliwości zastosowania rakiet prochowych w lotnictwie", zamieszczonego w Nr 10 (Rok IV, 1936) Lwowskiego Czasopisma Lotniczego. W poprzednim omówiłem zastosowanie rakiet prochowych w lotnictwie lądowym, w poniższym zaś omawiam zastosowanie rakiet prochowych w lotnictwie „wodującym". Obliczę zatem długość i czas startu wodnoszybowca, wodno-motoszybowca a wreszcie wodnosamolotów cięższych, typu wojskowego i komunikacyjnego, najpierw bez użycia rakiet a następnie przy współdziałaniu rakiet prochowych. Z porównania długości i czasów startu okaże się, czy użycie rakiet prochowych przyniesie jakąś korzyść.

Możliwości zastosowania rakiet prochowych w wodno-szybownictwie.

I. Rakieta prochowa.

Dokładny opis materiałów pędnych rakiet prochowych znajdzie Czytelnik w artykule [1] [1]). Użyjemy poniżej tych samych oznaczeń, które tam były podane, i tych samych wzorów dla rakiet pełnych. Przypomnę te wzory:

$$P = m\, C_{rz} = \frac{G_s}{g}\, C_{rz} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$P = \frac{\pi}{4}\, d^2 k \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

$$d = \sqrt{4 P \frac{1}{k \pi}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

$$G_c = G_s\, t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

[1]) Liczby w graniastych nawiasach odnoszą się do spisu literatury podanego na końcu tej pracy.

$$G_c = \frac{\pi d^2}{4} l \gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$l = \frac{4 G_c}{\pi d^2 \gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

$$G_r = \frac{100}{82} G_c . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

II. Start wodno-szybowca do lotu ciągowego (do holu) przy pomocy rakiety prochowej.

1. Sytuacja.

Przyjmuję następującą sytuację: wodnoszybowiec zostaje uczepiony przy pomocy liny do wodnosamolotu. Następnie wodnosamolot startuje i ciągnie (holuje) za sobą wodnoszybowiec na pewną wysokość. W poniższych obliczeniach interesować nas będzie tylko właściwy start wodnoszybowca tzn. okres czasu od chwili ruszenia wodnoszybowca z miejsca do chwili oderwania się go od zwierciadła wody. Oczywiście, rozumowania nasze nie ulegną zmianie, gdy wodnoszybowiec będzie holowany przez łódź motorową.

Wiadomo, że start wodnoszybowca jest na ogół dosyć ciężki, o czym świadczą zresztą próby, robione w Niemczech, w Portugalii itd. [2], [3]. Łódź motorowa, użyta do holowania, musi posiadać dosyć dużą moc silników, by oderwanie się wodnoszybowca od zwierciadła wody było możliwe. Poniżej przeprowadzone obliczenia odnoszą się do startu wodno-szybowców ciągnionych (holowanych) bądź to przez wodno-samolot bądź to przez łódź motorową. Wprawdzie, o ile mi wiadomo, start wodnoszybowca za wodnosamolotem dotychczas w praktyce był mało stosowany, jednakże to nie dowodzi, jakoby tego rodzaju start nie mógł w przyszłości częściej mieć miejsca. Orientacyjne obliczenia, poniżej przeprowadzone, mają tylko na celu zbadanie, o ile się skróci względnie długość startu przy zastosowaniu rakiet prochowych. Projekty i opisy startu wodnoszybowca za wodnosamolotem były już podawane na Istus'ie [3], [21].

Zadaniem moim jest obliczenie długości i czasu startu wodno-szybowca. Pod słowem „długość startu" rozumiem drogę, jaką wodnoszybowiec przepłynie od chwili zaczęcia ruchu do chwili oderwania się od wody. Obliczenia przeprowadzam pod tymi samymi założeniami, pod którymi przeprowadzałem obliczenia w [1]. Oprócz tych dojdzie jeszcze jedno założenie: nie biorę pod uwagę wpływu tarcia o wodę liny holowniczej ze względu na trudności liczbowego ujęcia wielkości tej siły i braku empirycznych danych w tym kierunku. Zresztą dzisiaj zmniejsza się wpływ tego tarcia przez umieszczanie korków na linie, dzięki którym lina nie zagłębia się w wodę.

Tok naszych obliczeń będzie następujący: najpierw obliczymy długość i czas startu zespołu wodnosamolot — wodnoszybowiec, połączonych w tandem, startującego bez rakiety, a następnie przy współdziałaniu rakiety prochowej.

Zaznaczę, że rakiety prochowe były już projektowane i próbowane celem skrócenia startu wodnosamolotów np. w Niemczech [16].

2. Wbudowanie rakiety.

Podobnie jak podano w [1].

3. Równania równowagi startującego wodnosamolotu.

Oznaczam:

Q_s = całkowity ciężar wodnosamolotu,

Q_{sz} = całkowity ciężar wodnoszybowca,

v = szybkość ruchu w czasie startu (zmienna z czasem),

t = czas startu,

P_x = opór aerodynamiczny (zmienny w czasie rozbiegu),

P = siła pociągowa rakiety przyjęta za stałą w czasie całego startu,

P_y = siła wyporu skrzydeł (zmienna w czasie rozbiegu),

S = powierzchnia nośna skrzydeł,

ϱ = gęstość powietrza (stała, równa $^1/_8$),

ϱ_w = gęstość wody,

i = kąt natarcia,

c_x = spółczynnik oporu aerodynamicznego, przyjęty za stały dla danego kąta natarcia w czasie całego startu,

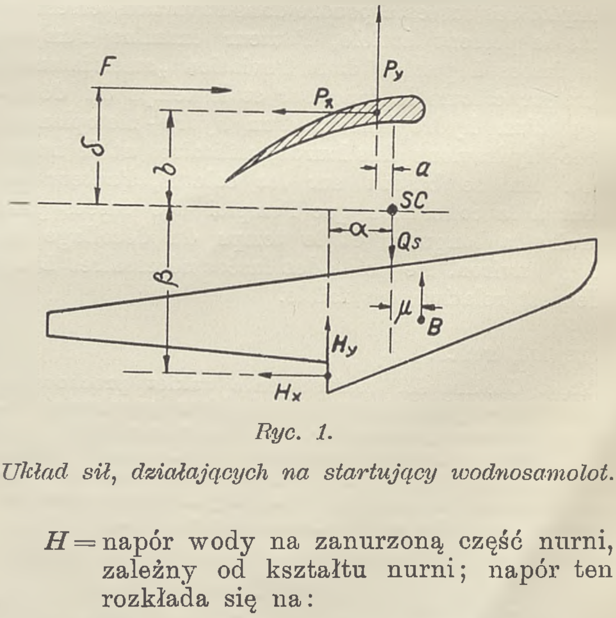
c_y = spółczynnik wyporu całego wodnosamolotu czy wodnoszybowca, przyjęty za stały dla danego kąta natarcia w czasie całego startu,

s = długość rozbiegu,

F = ciąg śmigła,

δ = odległość osi śmigła od środka ciężkości,

B = wypór wody, pochodzący od zanurzonej części nurni, działający w kierunku pionowym,



Ryc. 1.

Układ sił, działających na startujący wodnosamolot.

H = napór wody na zanurzoną część nurni, zależny od kształtu nurni; napór ten rozkłada się na:

H_x = składowa pozioma naporu,

H_y = składowa pionowa naporu,

α i β = spółrzędne punktu zaczepienia naporu wody na stopniu względem środka ciężkości,

a i b = spółrzędne punktu zaczepienia sił aerodynamicznych względem środka ciężkości,

F_0 = ciąg śmigła w miejscu bez nadmiaru mocy,

L = długość startu.

Najpierw ułożymy równania równowagi startującego wodnosamolotu w celu łatwiejszego później ułożenia równań startującego zespołu wodnosamolot — wodnoszybowiec tzn. wodnoszybowca ciągnionego przez wodnosamolot. Równania równowagi startującego wodnosamolotu w okresie, gdy nurnia dotyka zwierciadła wody, przedstawią się w postaci (ryc. 1) [6]:

$$P_y + B + H_y - Q_s = 0 \quad . \; . \; . \quad (8)$$

$$P_x + H_x - F = 0. \quad . \; . \; . \quad (9)$$

Równanie momentów:

$$P_x b - P_y a + B u - H_x \beta - H_y \alpha - F \delta = 0 \quad (10)$$

4. *Ciąg śmigła.*

Oznaczam:

f = stały spółczynnik, posiadający wymiar powierzchni,

c_s = stały spółczynnik oderwany, zależny od charakterystyki śmigła i od stosunku powierzchni śmigła do powierzchni nośnej (stały dla danego śmigła i samolotu),

k_c = spółczynnik ciągu śmigła (z pomiarów tunelowych),

τ = spółczynnik ciągu śmigła (z pomiarów tunelowych),

S_s = powierzchnia koła, zakreślonego przez śmigło,

U = prędkość obwodowa końców śmigła,

n = ilość obrotów śmigła,

D = długość śmigła (średnica koła zakreślonego),

λ = posuw śmigła,

k_{c0} = spółczynnik ciągu śmigła w miejscu,

τ_0 = spółczynnik ciągu śmigła w miejscu,

U_0 = prędkość obwodowa końców śmigła, gdy samolot stoi w miejscu,

n_0 = ilość obrotów śmigła, gdy samolot stoi w miejscu.

Z podobnymi zastrzeżeniami jak w [1] użyję do obliczenia wielkości ciągu śmigła wzorów (7), (8), (9), (10), (11):

$$F = F_0 - f \frac{\varrho v^2}{2} = F_0 - f q \quad . \; . \; . \quad (11)$$

$$f = c_s S \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad [12]$$

$$F = F_0 - c_s S q \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad [13]$$

$$F_0 = F + c_s S q \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (14)$$

$$c_s = 0{\cdot}02 - 0{\cdot}05 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (15)$$

$$F_0 = F + c_s S \frac{\varrho v^2}{2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (16)$$

Mając dane śmigło, można ciąg śmigła obliczyć z wzoru:

$$F = k_c \varrho S_s U^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (17)$$

względnie:

$$F = \tau \varrho n^2 D^4 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (18)$$

Spółczynniki „k_c" i „τ" należy odczytać z charakterystyki śmigła dla danego posuwu. Posuw wyraża się wzorem:

$$\lambda = \frac{v}{U} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (19)$$

względnie również i następującą wielkością charakterystyczną:

$$\lambda = \frac{v}{n D} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (20)$$

Ciąg śmigła w miejscu wyrazi się wzorem:

$$F_0 = k_{c0} \varrho S_s U_0^2 \quad . \; . \; . \; . \quad (21)$$

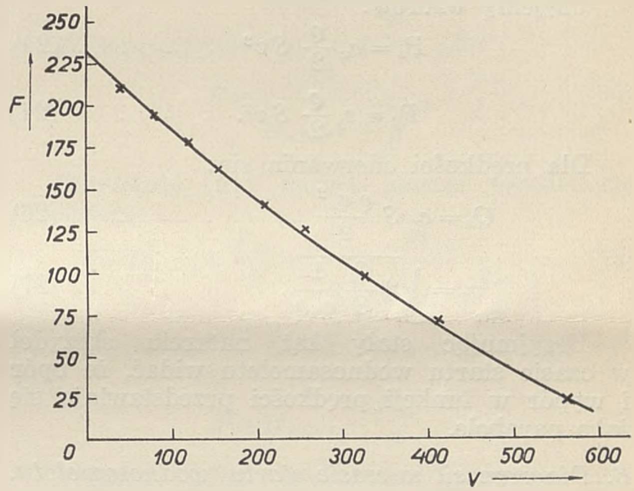
względnie:

$$F_0 = \tau_0 \varrho n_0^2 D^4 \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (22)$$

Spółczynniki „k_{c0}" i „τ_0" odczytuje się z charakterystyki śmigła dla posuwu równego zeru

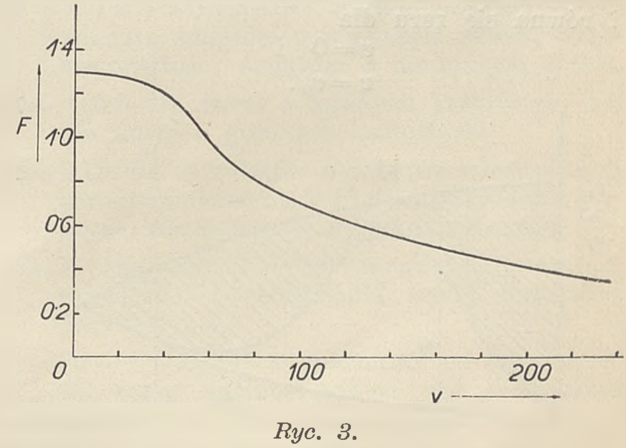
Na ogół ze wzrostem ilości obrotów ciąg śmigła maleje. Według [6] przebieg krzywej:

$$F = f(v). \quad . \; . \; . \; . \quad (23)$$



Ryc. 2.

Zależność ciągu śmigła od prędkości ruchu samolotu przy stałym momencie obrotowym silnika dla stosunku geometrycznego skoku śmigła do średnicy równego 0·7 według [6].



Ryc. 3.

Zależność ciągu śmigła od prędkości ruchu samolotu przy stałym momencie obrotowym silnika dla stosunku geometrycznego skoku śmigła do średnicy równego 1·3 według [6].

zależy od stosunku geometrycznego skoku śmigła do średnicy śmigła. Pod słowem „geometryczny skok“ rozumiem odległość, jaką by przebył pewien element śmigła w czasie jednego obrotu, gdyby się poruszał po linii śrubowej, nachylonej do płaszczyzny prostopadłej do osi śmigła pod kątem, równym kątowi zawartemu pomiędzy cięciwą profilu śmigła w danym punkcie a płaszczyzną prostopadłą do osi obrotu śmigła. Gdy ten stosunek jest średni lub niski np. 0.7, to według doświadczeń [6] funkcja (23) zbliża się swoim kształtem do prostej jak na ryc. 2. Gdy ten stosunek jest względnie dosyć wysoki, np. 1.3, to krzywa przybiera postać jak na ryc. 3.

Należy zaznaczyć, że powyższe wykresy są zrobione pod założeniem stałego momentu obrotowego silnika.

5. Opór, wypór aerodynamiczny i prędkość oderwania się wodnosamolotu.

Użyjemy wzorów:

$$P_x = c_x \frac{\varrho}{2} S v^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

$$P_y = c_y \frac{\varrho}{2} S v^2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

Dla prędkości oderwania się:

$$Q_s = c_y S \frac{\varrho v_u^2}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

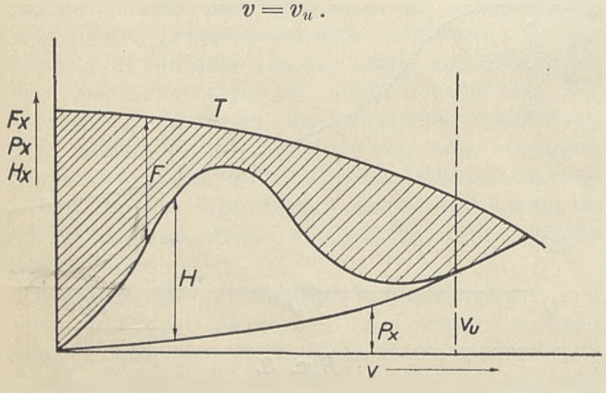
$$v_u = \sqrt{2 \frac{Q_s}{S} \frac{1}{c_y \varrho}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27)$$

Przyjmując stały kąt natarcia skrzydeł w czasie startu wodnosamolotu widać, że opór i wypór w funkcji prędkości przedstawiają się jako parabole.

6. Diagram sił w czasie startu wodnosamolotu.

Na ryc. 4 mamy przedstawiony diagram sił przyśpieszających w czasie startu. Krzywa F przedstawia nam wielkość ciągu śmigła, zmienną z prędkością. Dalej mamy na tym wykresie przedstawiony opór aerodynamiczny P_x i składową poziomą naporu H_x. Krzywa składowej poziomej przechodzi zwykle przez pewne maksimum dla jakiejś prędkości w czasie startu i równa się zeru dla

$$v = 0 \quad \text{i}$$
$$v = v_u .$$



Ryc. 4.

Diagram sił przyśpieszających w czasie startu wodnosamolotu.

Różnica rzędnych pomiędzy krzywymi ciągu i oporów przedstawia nam dla każdorazowej prędkości wielkość siły, przyśpieszającej wodnosamolot. Oderwanie się samolotu od zwierciadła wody następuje z chwilą osiągnięcia przez wodnosamolot prędkości „v_u“.

7. Składowa pozioma naporu wody.

Jasnym jest, że w celu obliczenia w każdej chwili startu siły przyśpieszającej, należy znać kształt krzywej, przedstawiającej każdorazową wielkość składowej poziomej naporu wody „H_x“. Oczywiście dokładny kształt tej krzywej możemy otrzymać tylko na podstawie badań w kanale wodnym. W braku tychże możemy się posługiwać pewnymi przybliżonymi metodami, pozwalającymi nam wyznaczyć tę krzywą. Tego rodzaju sposoby podaje np. Barrillon [6], Kosourow [17] i i. Niektóre takie sposoby obliczania wielkości tej składowej poziomej naporu wody podamy poniżej przy obliczaniu długości i czasu startu.

8. Długość i czas startu wodnosamolotu.

Celem obliczenia długości i czasu startu wodnosamolotu posłużymy się sposobami, podanymi przez Kosourow'a [17].

P i e r w s z y s p o s ó b G o u d ż a [2]).

Przyjmujemy następujące założenia: *a)* ciąg śmigła jest wielkością stałą, proporcjonalną do mocy silnika, niezależną od zmiennej prędkości; *b)* opór hydrodynamiczny przedstawimy jako parabolę drugiego stopnia z punktem wierzchołkowym dla prędkości równej połowie prędkości oderwania się wodnosamolotu.

Ciąg śmigła przedstawimy równaniem:

$$F = n N, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

gdzie:

N = moc silnika w koniach mechanicznych,

n = spółczynnik proporcjonalności ciągu śmigła do mocy silnika.

Opór hydrodynamiczny przedstawimy równaniem:

$$H_x = Q_s \, b \left[\frac{v}{v_u} - \left(\frac{v}{v_u} \right)^2 \right], \quad . \quad . \quad (29)$$

gdzie:

b = hydrodynamiczny spółczynnik kształtu nurni.

Z równania (29) widać, że funkcja;

$$H_x = f(v) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

jest parabolą drugiego stopnia, przechodzącą przez początek układu i mającą swoje maksimum w punkcie, odpowiadającym prędkości:

$$v = \frac{v_u}{2} \cdot \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

Aerodynamiczny opór wodnosamolotu przedstawimy w postaci:

$$P_x = \varepsilon \, Q_s \left(\frac{v}{v_u} \right)^2, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

[2]) Celem ułatwienia zorjentowania się w odnośnej literaturze sowieckiej zachowuję sowiecki sposób pisania nazwisk angielskich.

gdzie:

$$\varepsilon = \frac{c_x}{c_y} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33)$$

Równanie ruchu startującego wodnosamolotu możemy napisać w postaci:

$$\frac{Q_s}{g}\frac{d^2x}{dt^2} = nN - \varepsilon Q_s\left(\frac{v}{v_u}\right)^2 - b\,Q_s\left[\frac{v}{v_u} - \left(\frac{v}{v_u}\right)^2\right] \quad (34)$$

lub:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g\,n\,N}{Q_s} - \frac{g\,b\,v}{v_u} + \frac{g}{v_u^2}v^2(b-\varepsilon), \quad . \quad (35)$$

gdy przez „x" oznaczymy zmienną długość drogi, przebytą od początku ruchu.

Podstawiając:

$$dt = \frac{dx}{v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (36)$$

mamy:

$$\frac{v\,dv}{dx} = \frac{g\,n\,N}{Q_s} - \frac{g\,b\,v}{v_u} + \frac{g}{v_u^2}v^2(b-\varepsilon). \quad . \quad (37)$$

Wprowadzając oznaczenia:

$v_u = k\sqrt{q}$,

$q =$ obciążenie powierzchniowe $= \frac{Q_s}{S}$,

$k = \sqrt{\frac{2}{\varrho\, c_y}}$,

$p = \frac{Q_s}{N} =$ obciążenie mocy,

mamy:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{gn}{p} - \frac{g\,b\,v}{k\sqrt{q}} + \frac{g}{k^2 q}v^2(b-\varepsilon) \quad . \quad (38)$$

$$t = \int_0^{v_u} \frac{dv}{\frac{gn}{p} - \frac{g\,b\,v}{k\sqrt{q}} + \frac{g}{k^2 q}v^2(b-\varepsilon)}. \quad (39)$$

Jest to całka typu:

$$t = \int \frac{dx}{a - bx + cx^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (40)$$

Kosourow podaje w ostateczności następujący wzór na długość i czas startu po scałkowaniu równań (37) i (39):

$$L_u = \frac{k^2 q}{g(b-\varepsilon)}\left\{\frac{1}{2}\ln\left(1 - \frac{p\varepsilon}{n}\right) + \frac{b\sqrt{p}}{c}\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\left[\operatorname{arc\,tg}\frac{(b-2\varepsilon)\sqrt{p}}{c} + \operatorname{arc\,tg}\frac{b\sqrt{p}}{c}\right]\right\} \quad (41)$$

$$t_u = \frac{2k\sqrt{qp}}{cg}\left[\operatorname{arc\,tg}\frac{(b-2\varepsilon)\sqrt{p}}{c} + \right.$$

$$\left. + \operatorname{arc\,tg}\frac{b\sqrt{p}}{c}\right], \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (42)$$

gdzie:

$$c = \sqrt{4n(b-\varepsilon) - b^2 p}. \quad . \quad . \quad . \quad (43)$$

Z równania (42) widać, że czas startu stanie się nieskończenie długim, gdy:

$$c = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (44)$$

lub

$$p_{kr} = \frac{4n(b-\varepsilon)}{b^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (45)$$

Z równania (29) możemy obliczyć największą wartość oporu hydrodynamicznego, występującą, jak założono, przy prędkości, równej połowie prędkości oderwania się wodnosamolotu od zwierciadła wody:

$$H_{x\,max} = \frac{1}{4}\,Q_s\,b. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (46)$$

Z tego:

$$b = \frac{4\,H_{x\,max}}{Q_s}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (47)$$

Podobnież (33) możemy przedstawić:

$$\varepsilon = \frac{c_x}{c_y} = \frac{P_{xu}}{Q_s}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (48)$$

gdzie:

$P_{xu} =$ opór aerodynamiczny wodnosamolotu w chwili oderwania się tzn.:

$$P_{xu} = \frac{\varrho}{2}\,S\,c_x\,v_u^2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (49)$$

Podstawiając (47) i (48) w (45) mamy:

$$\left(\frac{Q_s}{N}\right)_{kr} = \frac{4F\left(\frac{4\,H_{x\,max}}{Q_s} - \frac{P_{xu}}{Q_s}\right)}{16\,N\,\frac{H^2_{x\,max}}{Q_s^2}} \quad . \quad . \quad . \quad (50)$$

Z tego (opuszczając symbol „kr"):

$$F = \frac{H^2_{x\,max}}{H_{x\,max} - \frac{P_{xu}}{4}}. \quad . \quad . \quad . \quad (51)$$

Równanie (51) można jeszcze przedstawić w postaci:

$$F = H_{x\,max} + \frac{P_{xu}}{4} + \frac{P^2_{xu}}{16\left(H_{x\,max} - \frac{P_{xu}}{4}\right)} \quad . \quad (52)$$

lub opuszczając za Bołchowitinowem dalsze wyrazy:

$$F = H_{x\,max} + \frac{P_{xu}}{4}. \quad . \quad . \quad . \quad (53)$$

Widzimy zatem, że dla „p_{kr}" potrzebny ciąg śmigła wyraża się równaniem (53). Aby zatem start był możliwy, musi być spełniona nierówność:

$$F > H_{x\,max} + \frac{P_{xu}}{4}. \quad . \quad . \quad . \quad (54)$$

Podam tu jeszcze przybliżone wartości użytych spółczynników:

$n = \sim 1{\cdot}6 \div 2{\cdot}0$ *kg*/KM; niższe wartości odpowiadają śmigłom o większym skoku, większe wartości śmigłom o mniejszym skoku.

$b = \sim 0{\cdot}6$ dla nurni o lepszych kształtach, 1·0 dla nurni o gorszych kształtach.

$\varepsilon = 0{\cdot}12$ dla samolotów o dobrych własnościach aerodynamicznych, 0·15 dla samolotów o gorszych własnościach aerodynamicznych.

$k = 4$ przy przyjęciu, że oderwanie się wodnosamolotu od zwierciadła wody następuje przy $c_y = 1{\cdot}0$.

$q = 30 - 150$ *kg*/m^2 w zależności od typu przeznaczenia wodnosamolotu czy wodnoszybowca.

$p = 3{\cdot}0 \div 10{\cdot}0$ *kg*/KM (obciążenie mocy).

Z równań (43) — (45) widać, że aby start był możliwy muszą być spełnione nierówności:

$$C > 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (55)$$

$$4n(b-\varepsilon) > b^2 p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (56)$$

$$p < \frac{4n(b-\varepsilon)}{b^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (57)$$

Na ogół należy dążyć do tego, by obciążenie mocy danego wodnosamolotu tzn. spółczynnik „p“ był jak największy. Jednakże zawsze powinna ta wartość „p“ być mniejszą od „p_{kr}“, przy której czas startu staje się nieskończenie długim. Otóż dużą wartość „p_{kr}“ można uzyskać przez przyjęcie dużego spółczynnika „n“ względnie przez uzyskanie małego spółczynnika „b“. Wpływ spółczynnika „b“ na „p_{kr}“ jest znacznie większy od wpływu spółczynnika „n“, jak to widać z wzoru (45). Celem skrócenia więc czasu i długości startu wodnosamolotu należy dążyć do uzyskania jak najkorzystniejszych kształtów nurnii.

Wpływ spółczynnika „p“ na długość czasu startu jest nieznaczny przy wartościach „p“ znacznie niższych od „p_{kr}“; natomiast w miarę zbliżania się wartości „p“ do „p_{kr}“ wpływ tego spółczynnika na długość czasu startu bardzo wzrasta — czas startu staje się coraz dłuższy. Stąd wniosek, że szczególnie przy konstruowaniu wodnosamolotów bombowych, pasażerskich i pocztowych, posiadających duże obciążenie mocy, należy obliczyć „p_{kr}“ i zbadać, czy jest ono dosyć większe od założonego obciążenia mocy „p“.

Dla uproszczenia obliczeń podał Bołchowitinow wzory na czas i długość startu dla 3 typowych wypadków:

1) dobre maszyny, dla których: $k=4$, $b=0{\cdot}6$, $\varepsilon=0{\cdot}12$, $n=2$;

2) średnie maszyny, dla których: $k=4$, $b=0{\cdot}8$, $\varepsilon=0{\cdot}135$, $n=2$;

3) gorsze maszyny, dla których: $k=4$, $b=1{\cdot}0$, $\varepsilon=0{\cdot}15$, $n=2$.

Podstawiając powyższe dane w równanie na czas startu, otrzymamy za Bołchowitinow'em:

1) dobre maszyny . . $t_u = 0{\cdot}30\sqrt{q}\sqrt{\frac{p^3}{10-p}}$ (58)

2) średnie maszyny . $t_u = 0{\cdot}31\sqrt{q}\sqrt{\frac{p^3}{8{\cdot}5-p}}$ (59)

3) gorsze maszyny . $t_u = 0{\cdot}32\sqrt{q}\sqrt{\frac{p^3}{7-p}}$ (60)

Analogicznie mamy wzory na długość startu:

1) dobre maszyny:

$$L_u = q\left[0{\cdot}168(p-1) + \frac{0{\cdot}75\sqrt{p^3}}{\sqrt{10-p}}\right] \quad . \quad (61)$$

2) średnie maszyny:

$$L_u = q\left[0{\cdot}140(p-1) + \frac{0{\cdot}75\sqrt{p^3}}{\sqrt{8{\cdot}5-p}}\right] \quad . \quad (62)$$

3) gorsze maszyny:

$$L_u = q\left[0{\cdot}113(p-1) + \frac{0{\cdot}75\sqrt{p^3}}{\sqrt{7-p}}\right] \quad . \quad (63)$$

W pierwszym wyrazie w nawiasie graniastym możemy przyjąć czynnik stały równy średniej wartości 0·140 (we wzorach 61 — 63).

Drugi sposób B. I. Dudakow'a.

Założenia Dudakow'a są następujące: *a)* ciąg śmigła zmienia się z prędkością i przedstawia się jako funkcja paraboliczna tej prędkości; *b)* opór hydrodynamiczny wyraża się jako funkcja trygonometryczna, posiadająca swoje maksimum przy prędkości równej 40% prędkości oderwania się.

Dudakow na miejsce równania równowagi sił, działających na startujący wodnosamolot, wprowadza równanie prac:

$$U_j = U_p - U_x - U_w \quad . \quad . \quad . \quad (64)$$

gdzie:

U_j = praca sił bezwładności,
U_p = praca siły ciągu śmigła,
U_x = praca aerodynamicznego oporu,
U_w = praca hydrodynamicznego oporu.

Przy pomocy równania (64) znajdziemy czas startu. Długość startu znajdziemy z równania:

$$dx = v\,dt \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (65)$$

$$L_u = \int_0^t v\,dt \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (66)$$

Przyjmujemy, że hydrodynamiczny opór w przedziale prędkości:

$$0 < v < 0{\cdot}4\,v_u$$

wyraża się równaniem:

$$H_x = H_{x\,kr} = \sin^2\frac{\pi}{0{\cdot}8}\,\frac{v}{v_u}, \quad . \quad . \quad (67)$$

zaś w przedziale prędkości

$$0{\cdot}4\,v_u < v < v_u$$

równaniem

$$\overline{H_x} = H_{x\,kr}\sin^2\frac{\pi}{1{\cdot}2}\left(1-\frac{v}{v_u}\right), \quad . \quad . \quad (68)$$

gdzie:

$H_{x\,kr}$ = tzw. opór hydrodynamiczny krytyczny; jest to największa wartość oporu hydrodynamicznego występująca przy prędkości równej $0{\cdot}4\,v_u$.

Powyższe przyjęcia dadzą się uzasadnić tym, że kształt krzywej oporu hydrodynamicznego startującego wodnosamolotu przypomina w pewnym stopniu sinusoidę.

W braku innych danych można przyjąć:

$$H_{x\,kr} = \sim\frac{Q_s}{5} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (69)$$

Dalej Dudakow przyjmuje następującą zależność czasu startu od prędkości:

$$\frac{t}{t_u} = \sin^2\frac{\pi}{2}\,\frac{v}{v_u}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (70)$$

gdzie:

t_u = całkowity czas startu.

Dalej mamy:

$$U_w = \Big|\,U_w\Big|_0^{0{\cdot}4\,v_u} + \Big|\,U_w\Big|_{0{\cdot}4\,v_u}^{v_u} \quad . \quad . \quad (71)$$

$$\Big|\,U_w\Big|_0^{0{\cdot}4\,v_u} = \int_0^{0{\cdot}4\,v_u} H_x\,d_x \quad . \quad . \quad (72)$$

$$\Big|\,U_w\Big|_{0{\cdot}4\,v_u}^{v_u} = \int_{0{\cdot}4\,v_u}^{v_u} \overline{H_x}\,d_x \quad . \quad . \quad (73)$$

Po zróżniczkowaniu równania (70) i wstawieniu równań (65), (67), (69), (72) i (73) w równanie (71) otrzymuje Dudakow to równanie w postaci:

$$U_w = 0{\cdot}062\ Q_s\, v_u\, t_u. \quad . \quad . \quad . \tag{74}$$

Praca oporu aerodynamicznego:

$$U_x = \int_0^{v_u} P_x\, d_x. \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{75}$$

Po podobnych jak wyżej, przekształceniach, dochodzi Dudakow do wyrażenia:

$$U_x = 0{\cdot}0975\ c_x\, \varrho\, S\, v_u^3\, t_u. \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{76}$$

Praca sił bezwładności w czasie całego startu równa się wielkości energii wodnosamolotu, posiadanej przez niego w chwili oderwania się od zwierciadła wody:

$$U_j = \frac{Q_s}{g}\ \frac{v_u^2}{2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{77}$$

Wreszcie pracę siły ciągu śmigła przedstawimy w postaci:

$$U_p = \int_0^L F\, d_x = \int_0^{t_u} F\, v\, dt. \quad . \quad . \tag{78}$$

Wielkość ciągu śmigła oblicza Dudakow z równania mocy:

$$F v = 75\ N\, \eta. \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{79}$$

Sprawność śmigła przedstawia Dudakow wzorem Blenk'a:

$$\eta = \frac{3}{2}\ \frac{v}{v'}\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{v}{v'}\right)^2\right]\eta_{max}, \quad . \tag{80}$$

gdzie:

η_{max} = maksymalna sprawność użytego śmigła,

v' = prędkość, przy której śmigło osiąga swoją maksymalną sprawność.

Po całym szeregu podstawień otrzymujemy wzór na pracę siły ciągu śmigła:

$$U_p = \frac{75\,N}{v'}\left[0{\cdot}745 - 0{\cdot}098\left(\frac{v_u}{v'}\right)^2\right] v_u\, t_u\, \eta_{max} \tag{80a}$$

Podstawiając poszczególne wyrażenia w (64), mamy:

$$\frac{Q_s}{g}\ \frac{v_u^2}{2} = U_p - 0{\cdot}0975\ c_x\, \varrho\, S\, v_u^3\, t_u -$$

$$- 0{\cdot}062\ Q_s\, v_u\, t_u \quad . \quad . \quad . \tag{80b}$$

Z tego równania możemy obliczyć czas startu:

$$t_u = \frac{0{\cdot}051\ Q_s\, v_u}{75\,\frac{N}{v'}\left[0{\cdot}745 - 0{\cdot}098\left(\frac{v_u}{v'}\right)^2\right]\eta_{max} - \left[0{\cdot}062\ Q_s + 0{\cdot}0975\ c_x\, \varrho\, S\, v_u^2\right]}. \quad . \quad . \quad . \tag{81}$$

Podobnie można dojść do wzoru:

$$L_u = 0{\cdot}5\ v_u\, t_u. \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{82}$$

Powyższe wzory są wyprowadzone pod założeniem:

$$H_{x\,kr} = \sim \frac{Q_s}{5}. \quad . \quad . \quad . \tag{69}$$

Mimochodem zaznaczę, że powyższa wielkość $H_{x\,kr}$, występująca przy prędkości $0{\cdot}4\, v_u$, zgadza się z przyjęciami niemieckimi. Köhler [20] podaje:

$$H_{x\,kr} = 0{\cdot}15 \div 0{\cdot}25\ Q_s \quad . \quad . \tag{69a}$$

przy prędkości:

$$v_{kr} = 0{\cdot}35 \div 0{\cdot}45\ v_u. \quad . \quad . \tag{69b}$$

Trzeci sposób K. F. Kosourow'a.

Kosourow zakłada, że w czasie startu ruch wodnosamolotu jest ruchem jednostajnie przyśpieszonym. Siłą przyśpieszającą ruch wodnosamolotu jest nadmiar siły ciągu śmigła, wynikający z równania równowagi. Przyjmujemy pewną średnią wartość tego nadmiaru siły ciągu śmigła, dającą się określić z równania:

$$\Delta F_{śr} = F_{śr} - P_{x\,śr} - H_{x\,śr} \quad . \quad . \tag{83}$$

gdzie:

$\Delta F_{śr}$ = średnia wartość nadmiaru siły ciągu śmigła,

$F_{śr}$ = średnia wielkość siły ciągu śmigła,

$P_{x\,śr}$ = średnia wielkość oporu aerodynamicznego,

$H_{x\,śr}$ = średnia wielkość oporu hydrodynamicznego,

Poszczególne wartości średnich wielkości obliczymy z poniżej podanych równań.

Ciąg śmigła przedstawia Kosourow równaniem:

$$F = F_0\left(1 - k\,\frac{v}{v_u}\right). \quad . \quad . \quad . \tag{84}$$

Spółczynnik „k" według [19] wynosi średnio

$$k = 0{\cdot}29. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{85}$$

Średni ciąg śmigła w ruchu jednostajnie przyśpieszonym otrzymamy dla prędkości, równej połowie prędkości oderwania się wodnosamolotu. A zatem:

$$F_{śr} = F_0\,(1 - 0{\cdot}29 \times 0{\cdot}5) = \sim 0{\cdot}86\ F_0. \tag{86}$$

Średni opór aerodynamiczny otrzymamy z równania:

$$P_{x\,śr} = \frac{\int_0^{v_u} c_x\, \varrho\, S\, v^2\, dv}{2\ v_u} = \frac{c_x\, \varrho\, S\, v_u^2}{6}. \tag{87}$$

Średni opór hydrodynamiczny przyjmujemy równy połowie oporu krytycznego według Dudakow'a.

$$H_{x\,śr} = \frac{Q_s}{10}. \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{88}$$

Zatem:

$$\Delta F_{śr} = 0{\cdot}86\ F_0 - \frac{c_x\, \varrho\, S\, v_u^2}{6} - \frac{Q_s}{10}. \tag{89}$$

Z równości pędu i popędu wynika:

$$\Delta F_{śr}\, t_u = \frac{Q_s}{g}\, v_u. \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{90}$$

Z tego:

$$t_u = \frac{Q_s}{g}\, v_u\, \frac{1}{0{\cdot}86\ F_0 - \frac{c_x\, \varrho\, S\, v_u^2}{6} - \frac{Q_s}{10}}. \tag{91}$$

Długość startu:

$$L_u = 0{\cdot}5\ v_u\, t_u. \quad . \quad . \quad . \quad . \tag{92}$$

Sposoby graficzne.

Oprócz sposobów rachunkowych obliczenia czasu i długości startu, istnieją graficzne spo-

soby znalezienia tych wielkości, których tu już nie podaję. Znaleźć je można w pracach specjalnych [6], [17].

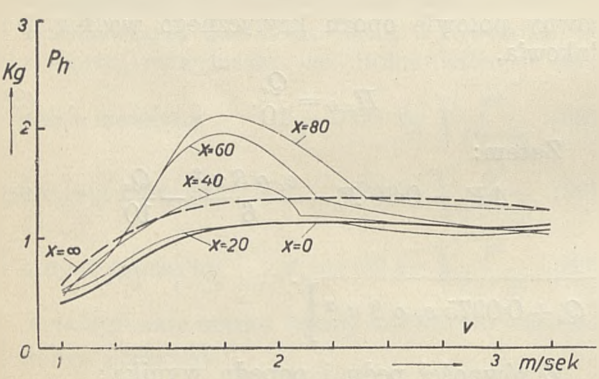
P o r ó w n a n i e r o z m a i t y c h s p o s o b ó w o b l i c z e n i a c z a s u i d ł u g o ś c i s t a r t u.

Porównanie rozmaitych sposobów obliczenia czasu i długości startu wodnosamolotów przeprowadza Kosourow. Ponadto porównuje ten autor wyniki, otrzymane rozmaitymi sposobami rachunkowymi i wykreślnymi dla 2 wodnosamolotów: ASK i Dornier-Wall. Wyniki te przytaczam poniżej; podają one różnice przeliczeń w % w porównaniu z wynikiem, otrzymanym sposobem graficznym:

Sposób Goudża	t_u	+ 15%
	L_u	+ 192%
Sposób Dudakow'a	t_u	— 5%
	L_u	— 4%
Sposób Kosourow'a	t_u	— 5%
	L_u	— 3%

9. Opór 2 wodnosamolotów, połączonych w tandem, przy stałym kącie natarcia.

Całkowity opór hydrodynamiczny 2 wodnosamolotów połączonych w tandem tzn. np. wodnosamolotu holującego i wodnoszybowca jest na ogół wielkością bardzo trudną do teoretycznego ujęcia. Opór ten zależy właściwie od 6 parametrów: od 2 kątów natarcia, 2 szerokości nurni, od odległości pomiędzy wodnosamolotem a wodnoszybowcem i wreszcie od ciężaru całego zespołu. Pewne pojęcie o wielkości tego oporu mogą dostarczyć badania laboratoryjne w kanałach wodnych. Wynik pewnych takich badań mamy przedstawiony na ryc. 5 według



Ryc. 5.

Zależność hydrodynamicznego oporu zespołu 2 modeli wodnosamolotów, połączonych w tandem od prędkości ruchu przy zmiennej odległości pomiędzy nimi.

[6]. Badano w tym wypadku opór 2 modeli płatowców, połączonych w tandem, przy stałym kącie natarcia i przy zmiennej odległości pomiędzy płatowcami. Jak widać z tych badań np. opór takiego zespołu przy odległości pomiędzy nimi $x = \infty$ jest większy niż przy odległości $x = 0$ lub $x = 20\,cm$; jednakże przy odległości pomiędzy modelami równej $80\,cm$ opór bardzo wzrasta, prawie o 100% w porównaniu z oporem przy $x = \infty$. To zjawisko wzrostu oporu przy pewnych odległościach pomiędzy płatowcami należy tłumaczyć tym, że fale, wzbudzane przez pierwszy model, były rzucane z dużą siłą na drugi model, powodując tym samym silne rozpryskiwanie się wody i ogromny wzrost oporu całego zespołu. Ponadto stwierdzono, że wielkość tego oporu i jego maksimum zależą od prędkości ruchu.

Hydrodynamiczny opór całego zespołu przy odległości $x = \infty$ jest algebraiczną sumą oporów badanych modeli. Ponieważ przy pewnych skończonych odległościach pomiędzy modelami całkowity ten opór jest bądź to większy bądź to mniejszy od oporu przy $x = \infty$, będziemy w dalszych rozważaniach przyjmowali, że całkowity opór wodnosamolotu i wodnoszybowca holowanego równa się sumie poszczególnych oporów.

10. Długość i czas startu zespołu tandem: wodnosamolot holujący i wodnoszybowiec holowany.

Celem obliczenia długości i czasu startu zespołu: wodnosamolot i wodnoszybowiec weźmiemy pod uwagę powyżej podane 3 sposoby obliczenia długości i czasu startu wodnosamolotu i wprowadzimy w nich pewne zmiany celem uwzględnienia dodatkowego oporu wodnoszybowca.

S p o s ó b G o u d ż a (przystosowany).

Całkowity opór hydrodynamiczny zespołu wyrazi się wzorem:

$$H_{xc} = H_{xs} + H_{xsz} \quad . \quad . \quad . \quad (93)$$

H_{xs} = opór hydrodynamiczny wodnosamolotu,
H_{xsz} = opór hydrodynamiczny wodnoszybowca.

Poszczególne wyrażenia dla wodnosamolotu będziemy zaopatrywali znaczkiem „*s*", dla wodnoszybowca znaczkiem „*sz*". Ponadto zrobimy jeszcze jedno założenie upraszczające, niezupełnie słuszne, lecz bardzo ułatwiające rozwiązanie równań na długość i czas startu. Przyjmiemy mianowicie, że prędkość oderwania się wodnosamolotu i wodnoszybowca od zwierciadła wody są sobie równe a ponadto, że równają się one średniej arytmetycznej prędkości oderwania się wodnosamolotu i wodnoszybowca:

$$v_u = \frac{v_{us} + v_{usz}}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (94)$$

Założenie to jest o tyle niesłuszne, że prędkość oderwania się wodnoszybowca zwykle jest mniejszą od prędkości oderwania się wodnosamolotu, gdyż wodnoszybowiec zwykle posiada mniejsze obciążenie powierzchniowe. Prędkości oderwania się wodnosamolotu i wodnoszybowca obliczymy z równania (27) po wstawieniu w nie odpowiednich wielkości.

Poszczególne opory hydrodynamiczne wyrażą się podług wzoru (29):

$$H_{xs} = Q_s\, b_s \left[\frac{v}{v_u} - \left(\frac{v}{v_u}\right)^2\right] \quad . \quad . \quad (95)$$

$$H_{x\,sz} = Q_{sz}\, b_{sz}\left[\frac{v}{v_u} - \left(\frac{v}{v_u}\right)^2\right] \quad . \quad . \quad (96)$$

$$H_{xc} = \left[\frac{v}{v_u} - \left(\frac{v}{v_u}\right)^2\right]\left[Q_s\, b_s + Q_{sz}\, b_{sz}\right]. \quad (97)$$

Podobnie aerodynamiczny opór całkowity przedstawimy w postaci:

$$P_{xc} = \left(\frac{v}{v_u}\right)^2\left[\varepsilon_s\, Q_s + \varepsilon_{sz}\, Q_{sz}\right]. \quad . \quad . \quad . \quad (98)$$

Równanie ruchu startującego całego zespołu przedstawi się w postaci:

$$\frac{Q_s + Q_{sz}}{g}\,\frac{d^2x}{dt^2} = nN - \left[\varepsilon_s\, Q_s + \varepsilon_{sz}\, Q_{sz}\right]\left(\frac{v}{v_u}\right)^2 -$$
$$-\left[\frac{v}{v_u} - \left(\frac{v}{v_u}\right)^2\right]\left[Q_s\, b_s + Q_{sz}\, b_{sz}\right]. \quad (99)$$

W celu dalszego uproszczenia możemy wprowadzić pewne pojęcia średniej szerokości nurnii i średniej doskonałości aerodynamicznej całego zespołu startującego:

$$b = \frac{b_s + b_{sz}}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (100)$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_s + \varepsilon_{sz}}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (101)$$

$$Q_c = Q_s + Q_{sz}. \quad . \quad . \quad . \quad (102)$$

Wtenczas równanie (99) przybierze postać:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{gNn}{Q_c} - \frac{gbv}{v_u} + \frac{g}{v_u^2}\,v^2\,(b-\varepsilon). \quad (103)$$

Wprowadzając znowu oznaczenia dla całego zespołu:

$$v_u = k_c\sqrt{q_c} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (103\,a)$$

$$q_c = \frac{Q_c}{S_c}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (103\,b)$$

S_c = całkowita powierzchnia nośna =

$$= S_s + S_{sz}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (103\,c)$$

$$k_c = \sqrt{\frac{2}{\varrho\, c_{y\,c}}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (103\,d)$$

gdzie: $c_{y\,c} = \dfrac{c_{y\,s} + c_{y\,sz}}{2}$ . . . . . . (104)

$$p = \frac{Q_c}{N} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (104\,a)$$

możemy zachować równania Goudża na długość i czas startu w postaci (41) i (42). Podobnież dalsze równania zachowają swoją postać. I tak równanie (46) będzie wyglądało:

$$H_{x\,c\,max} = \frac{1}{4}\,Q_c\, b \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (105)$$

Nierówność (54):

$$F > H_{x\,c\,max} + \frac{P_{x\,c\,u}}{4}. \quad . \quad . \quad . \quad (106)$$

Uproszczone wzory (58) — (63) zachowają swoją postać, oczywiście po wprowadzeniu odpowiednich wartości na p i q. Można jeszcze podać, że:

$$P_{x\,c\,u} = \varepsilon_s\, Q_s + \varepsilon_{sz}\, Q_{sz}. \quad . \quad . \quad . \quad (106\,a)$$

Sposób Dudakow'a (przystosowany).

Będziemy mogli użyć wzorów (81) i (82), o ile za Q_s i S podstawimy wartości na Q_c i S_c, za v_u wyrażenie (94), zaś za c_x sumę:

$$c_{xc} = c_{x\,s} + c_{x\,sz} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (107)$$

Sposób Kosourow'a (przystosowany).

Będziemy mogli użyć wzorów (91) i (92) po wprowadzeniu tych samych wielkości co w wyżej podanym sposobie Dudakow'a.

11. Długość i czas startu wodnosamolotu przy współdziałaniu rakiety prochowej.

Obliczymy z kolei długość i czas startu wodnosamolotu przy współdziałaniu rakiety prochowej. Obliczenia przeprowadzę w ten sposób, że wprowadzę pewne zmiany w 3 powyżej podanych metodach obliczenia długości i czasu startu celem uwzględnienia dodatkowej siły pociągowej rakiety,

Sposób Goudża (przystosowany).

W miejsce siły ciągu śmigła będziemy mieli do dyspozycji sumę sił, złożoną z siły ciągu śmigła i siły popędowej rakiety. Równanie (28) przyjmie postać:

$$F_c = nN + P, \quad . \quad . \quad . \quad (108)$$

gdzie:

F_c = całkowita siła pociągowa wodnosamolotu.

Równanie (35) przyjmie postać:

$$\frac{dv}{dt} = g\,\frac{nN + P}{Q_s} - \frac{gbv}{v_u} + \frac{g}{v_u^2}\,v^2\,(b-\varepsilon). \quad (109)$$

Wprowadzając oznaczenie:

$$p_r = \frac{Q_s}{N + \dfrac{P}{n}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (110)$$

mamy równanie (38) w postaci:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{gn}{p_r} - \frac{gbv}{k\sqrt{q}} + \frac{g}{k^2 q}\,v^2\,(b-\varepsilon). \quad (111)$$

Jak widać, będziemy mogli użyć do obliczenia długości i czasu startu równań (41) i (42), wstawiając wszędzie zamiast wartości „p" wartość „p_r". Podobnie nierówność (54) przybierze postać:

$$F + P > H_{x\,max} + \frac{P_{x\,u}}{4}. \quad . \quad . \quad (112)$$

Nierówność (57):

$$p_r < \frac{4n\,(b-\varepsilon)}{b^2}. \quad . \quad . \quad . \quad (113)$$

Wreszcie będziemy mogli użyć wzorów (58) — (63).

Sposób Dudakow'a (przystosowany)

W metodzie Dudakow'a ulegnie zmianie wyrażenie na pracę sił, powodujących ruch tzn. sił przyśpieszających. Mianowicie do pracy siły ciągu śmigła dojdzie jeszcze praca siły popędowej rakiety. Pracę tę przedstawimy wzorem:

$$U_{pr} = \int_0^L P\,dx. \quad . \quad . \quad . \quad (114)$$

Ponieważ:

$$dx = v\,dt, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (115)$$

więc:

$$U_{pr} = \int_0^{t_u} P\,v\,dt.$$

Przyjmując pewną średnią prędkość, stałą w czasie całego startu, równą połowie prędkości

oderwania się wodnosamolotu od powierzchni wody, mamy:

$$U_{pr} = \int_0^{t_u} P \frac{v_u}{2} dt. \quad . \quad . \quad (116)$$

Ostatecznie:

$$U_{pr} = \frac{1}{2} P v_u t_u. \quad . \quad . \quad . \quad (117)$$

Równanie (64) przyjmie postać:

$$U_j = U_p + U_{pr} - U_x - U_w. \quad . \quad (118)$$

Równanie (81) przedstawi się w postaci:

$$t_u = \frac{0{\cdot}051\, Q_s v_u}{75 \frac{N}{v'}\left[0{\cdot}745 - 0{\cdot}098 \left(\frac{v_u}{v'}\right)^2\right]\eta_{max} + \frac{1}{2} P - \left[0{\cdot}062\, Q_s + 0{\cdot}0975\, c_x \varrho S v_u^2\right]} \quad . \quad . \quad (119)$$

Wzór (82) pozostanie bez zmiany.

Sposób Kosourow'a (przystosowany).

Równanie (83) przybierze postać:

$$\Delta F_{śr} = F_{śr} + P - P_{x\,śr} - H_{x\,śr}. \quad . \quad (120)$$

Równanie (89):

$$\Delta F_{śr} = 0{\cdot}86\, F_0 + P - \frac{c_x \varrho S v_u^2}{6} - \frac{Q_s}{10}. \quad (121)$$

Równanie (91):

$$t_u = \frac{Q_s}{g} v_u \frac{1}{0{\cdot}86\, F_0 + P - \frac{c_x \varrho S v_u^2}{6} - \frac{Q_s}{10}}. \quad (122)$$

Równanie (92) pozostanie bez zmiany.

12. Długość i czas startu zespołu tandem: wodnosamolot holujący i wodnoszybowiec holowany przy współdziałaniu jednej rakiety prochowej, umieszczonej w wodnosamolocie.

Wprowadzimy z kolei pewne zmiany we wzorach (93)—(107) celem uwzględnienia siły popędowej rakiety prochowej, umieszczonej w wodnosamolocie i palącej się przy starcie.

Sposób Goudża (przystosowany).

Równanie (103) przyjmuje postać:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{Q_c}(nN + P) - \frac{gbv}{v_u} + \frac{g}{v_u^2} v^2 (b - \varepsilon) \quad (123)$$

Wprowadzając oznaczenie:

$$p_r = \frac{Q_c}{N + \frac{P}{n}}, \quad . \quad . \quad . \quad (123a)$$

a nadto oznaczenia z ustępu II. 12, będziemy mogli wzór (123) napisać w postaci:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{gn}{p_r} - \frac{gbv}{k_c \sqrt{q_c}} + \frac{g}{k_c^2 q_c} v^2 (b - \varepsilon). \quad (124)$$

Jak widać, będziemy mogli użyć do obliczenia długości i czasu startu równań (41) i (42), wstawiając tylko odpowiednie wartości na „p_r", „k_c" itp. Podobnie nierówność (54) przybierze postać:

$$F + P > H_{xc\,max} + \frac{P_{xcu}}{4}. \quad . \quad . \quad (125)$$

Wreszcie będziemy mogli użyć wzorów (58)—(63).

Sposób Dudakow'a (przystosowany).

Będziemy mogli użyć wzorów (82) i (119), o ile za „Q_s" i „S" podstawimy wartość na „Q_c" i „S_c", za v_u wyrażenie (94), zaś za „c_x" wyrażenie (107).

Sposób Kosourow'a (przystosowany).

Będziemy mogli użyć wzorów (92) i (122) po wprowadzeniu tych samych wielkości, co w wyżej podanym sposobie Dudakow'a.

13. Długość i czas startu zespołu tandem: wodnosamolot holujący i wodnoszybowiec holowany przy współdziałaniu jednej rakiety prochowej, umieszczonej w wodnoszybowcu.

Przy umieszczeniu rakiety prochowej w wodnoszybowcu można uważać, że całkowity opór wodnoszybowca będzie zmniejszony właśnie o wielkość siły popędowej rakiety. Założenie to od razu daje nam warunek, ograniczający wielkość siły popędowej rakiety a więc i wielkość rakiety. Albowiem siła popędowa rakiety musi być mniejszą lub równą całkowitemu oporowi wodnoszybowca w czasie startu (np. oporowi średniemu). Gdyby siła popędowa była większą od całkowitego oporu wodnoszybowca, to tym samym przestałby istnieć fakt „holowania" tzn. ciągnienia wodnoszybowca przez wodnosamolot na okres startu, gdyż wodnoszybowiec poruszałby się ruchem przyśpieszonym i mógłby się nawet zbliżać do holującego wodnosamolotu. Oczywiście, jest to przypadek raczej teoretyczny, gdyż w praktyce musiałoby się chyba stosować bardzo duże rakiety w takim wypadku.

Przy powyższym ujęciu w równaniu (99) dojdzie jeszcze po prawej stronie wielkość siły popędowej rakiety „P" i równanie (103) przyjmie postać identyczną z postacią równania (123). Widzimy zatem, że w omawianym przypadku możemy stosować równania z poprzedniego ustępu II. 12.

14. Długość i czas startu zespołu tandem: wodnosamolot holujący i wodnoszybowiec holowany przy współdziałaniu dwóch rakiet prochowych, umieszczonych w wodnosamolocie i w wodnoszybowcu.

Na podstawie rozważań ustępów 12. i 13. można będzie w omawianym przypadku stosować równania z ustępu 12. po wprowadzeniu pewnej zmiany. Oznaczając:

P_s = siła popędowa rakiety, umieszczonej w wodnosamolocie,

P_{sz} = siła popędowa rakiety, umieszczonej w wodnoszybowcu,

należy we wszystkich wzorach za wartość P podstawić:

$$P = P_s + P_{sz}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (126)$$

15. Długość i czas startu wodnoszybowca, holowanego przy starcie przez łódź motorową.

Rozpatrzymy z kolei start wodnoszybowca przy pomocy łodzi motorowej. Podamy tylko jeden sposób obliczenia długości startu oparty na sposobie Kosourow'a.

a) Zmodyfikowany sposób Kosourow'a.

Siłę pociągową silnika, umieszczonego w łodzi motorowej, przedstawimy przy pomocy równania (28). Spółczynnik „n" dla silników samochodowych i silników, używanych do łodzi motorowych, można przyjąć przy prędkościach około 100 *km/godz* równy:

$$n = \sim 0{\cdot}5 - 0{\cdot}7\ kg/KM \quad . \quad . \quad (127)$$

Oporu hydrodynamicznego łodzi nie można przedstawić wzorem (29), gdyż opór ten będzie stale wzrastał z prędkością a nie malał, począwszy od pewnego punktu, jak to się dzieje z oporem hydrodynamicznym wodnosamolotu. Opór ten będzie oczywiście proporcjonalny do kwadratu z prędkości ruchu [20]. Brak jest empirycznych danych, odnoszących się do oporu łodzi motorowych; do naszych porównawczych obliczeń możemy przyjąć, że analogicznie do równania (29) opór łodzi przedstawi się równaniem:

$$H_{xl} = Q_l\, b_l\, v^2 \quad . \quad . \quad . \quad (128)$$

H_{xl} = opór hydrodynamiczny łodzi,
Q_l = ciężar łodzi; od jego wielkości będzie zależała głębokość zanurzenia się łodzi a więc i wielkość powierzchni hydrodynamicznego oporu czołowego,
b_l = hydrodynamiczny spółczynnik kształtu łodzi.

Należy zaznaczyć, że we wielkość „H_{xl}" wchodzą wszystkie opory, jakie napotyka ciało, poruszające się w wodzie a więc opór tarcia, falowy itd.

Spółczynnik b_l przyjmiemy:

$$b_l = \sim 0{\cdot}003. \quad . \quad . \quad . \quad (129)$$

Przyjmuję za Kosourow'em, że w czasie startu ruch całego zespołu jest ruchem przyśpieszonym. Siłą przyśpieszającą będzie siła:

$$\Delta F_{śr} = F_{śr} - P_{x\,śr} - H_{l\,x\,śr} - H_{x\,śr}, \quad (130)$$

gdzie:

$\Delta F_{śr}$ = średnia wartość nadmiaru siły ciągu silnika,
$F_{śr}$ = średnia wartość siły ciągu silnika,
$P_{x\,śr}$ = średnia wielkość oporu aerodynamicznego szybowca,
$H_{l\,x\,śr}$ = średnia wielkość oporu hydrodynamicznego łodzi,
$H_{x\,śr}$ = średnia wielkość oporu hydrodynamicznego szybowca.

Poszczególne wielkości przedstawią się:

$$F_{śr} = n\,N \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

$$P_{x\,śr} = \frac{c_{x\,sz}\,\varrho\,S_{sz}\,v_u^2}{6} \quad . \quad . \quad (87)$$

$$H_{l\,x\,śr} = \frac{\int_0^{v_u} b_l\,Q_l\,v^2\,dv}{2\,v_u} = \frac{b_l\,Q_l\,v_u^2}{6} \quad . \quad (131)$$

$$H_{x\,śr} = \frac{Q_{sz}}{10} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (88)$$

Dalej mamy:

$$\Delta F_{śr} = n\,N - \frac{c_{x\,sz}\,\varrho\,S_{sz}\,v_u^2}{6} - \frac{b_l\,Q_l\,v_u^2}{6} - \frac{Q_{sz}}{10} \quad (132)$$

$$\Delta F_{śr}\,t_u = \frac{Q_l + Q_{sz}}{g}\,v_u \quad . \quad . \quad (133)$$

$$t_u = \frac{Q_l + Q_{sz}}{g}\,v_u\,\frac{1}{\Delta F_{śr}} \quad . \quad . \quad (134)$$

$$L_u = 0{\cdot}5\,v_u\,t_u \quad . \quad . \quad . \quad (135)$$

16. Długość i czas startu wodnoszybowca, holowanego przy starcie przez łódź motorową, przy współdziałaniu rakiety prochowej.

Rakieta prochowa jest umieszczoną w wodnoszybowcu. W równaniu (132) dojdzie wyraz, przedstawiający siłę pociągową rakiety, która jednakże musi być mniejszą od sumy sił, przedstawiających opór aerodynamiczny i opór hydrodynamiczny szybowca. Równania (134) i (135) zostają bez zmiany, równanie (132) przejdzie w:

$$\Delta F_{śr} = n\,N + P - \frac{c_{x\,sz}\,\varrho\,S_{sz}\,v_u^2}{6} - \frac{b_l\,Q_l\,v_u^2}{6} - \frac{Q_{sz}}{10} \quad . \quad . \quad . \quad (136)$$

17. Tok obliczeń i przykłady obliczeniowe.

a) Obliczenie długości i czasu startu zespołu: wodnosamolot holujący i wodnoszybowiec holowany.

Przyjmuję wodnosamolot holujący wodnoszybowiec. Wprawdzie holowanie wodnoszybowca przez wodnosamolot nie zdarzało się dotychczas, jednakże to nie przeszkadza w rozważaniu tego przypadku, jako najbardziej klasycznego sposobu osiągnięcia przez wodnoszybowiec pewnej wysokości. Dane wodnosamolotu obieram zbliżone do danych wodnosamolotów tego typu jak Lioré et Olivier 180, Saunders „Cutty — Sark", Aeroneer 1 — B, The Canadian Vickers „Vedette", Romano R — 4 Seaplane, M. F. 9 z jednej strony a The Macchi „M — 70" The Canadian Vickers „Vista" i t. p. z drugiej strony: $Q_s = 1000\ kg$, $N = 180$ KM; dalej przyjmuję: $c_{ys} = 1{\cdot}0$ (względnie 100), $c_{xs} = 0{\cdot}09$ (względnie 9), $c_s = 0{\cdot}03$, $S_s = 20\ m^2$, $F_0 : Q_s = 0{\cdot}3$, $\varrho = \frac{1}{8}$, $b_s = 0{\cdot}6$. Przyjmuję dalej wodnoszybowiec dwuosobowy konstrukcji inż. Varela Cid'a (Portugalia) o następujących danych [2]: $G_{sz} = 340\ kg$, $S_{sz} = 23\ m^2$; w braku innych danych przyjmuję: $c_{y\,sz} = 1{\cdot}2$, $c_{x\,sz} = 0{\cdot}07$, $b_{sz} = 0{\cdot}6$.

Obliczam długość i czas startu rozmaitymi sposobami. Sposób Goudz'a: $\varepsilon_s = 0{\cdot}09$, $\varepsilon_{sz} = 0{\cdot}062$ (33), $\varepsilon = 0{\cdot}076$ (101), $b = 0{\cdot}6$ (100), $Q_c = 1340\ kg$ (102), $c_{yc} = 1{\cdot}1$ (104), $k_c = 3{\cdot}81$ (103 *d*), $S_c = 43\ m^2$ (103 *c*), $q_c = 31{\cdot}3\ kg/m^2$ (103 *b*), $v_u = 21{\cdot}3\ m/sek - 76{\cdot}7\ km/godz$ (103 *a*), $p = 7{\cdot}45\ kg/$KM (104 *a*); spółczynnik „n" obieram $n = 1{\cdot}6$; $F = 288\ kg$ (28); to zgadza się

z przyjętą wielkością ciągu śmigła w miejscu $F_0 = 0\cdot3\ Q_s = 300\ kg$, $c = 0\cdot818$ (43). Obliczam długość i czas startu: $L_u = 350\ m$ (41), $t_u = \sim 30\ sek$ (42). Obliczam jeszcze długość i czas startu wzorami przybliżonymi Bołchowitinow'a dla dobrych maszyn: $t_u = \sim 22\ sek$ (58), $L_u = 334\ m$ (61). Sprawdzimy jeszcze p_{kr}. $p_{kr} = 9\cdot32\ kg/KM$. Jak widzimy, nierówność (57) jest spełnioną. Jeszcze sprawdzimy: $P_{x\,c\,u} = 111\cdot1\ kg$ (106 *a*), $H_{x\,c\,max} = 201\ kg$ (105); wielkość ciągu śmigła, biorąc prędkość oderwania się z (103 *a*): $F = 300 - 0\cdot03 \times 20 \times 28\cdot4 = 300 - 17 = 283$ (13). Wartość ta zgadza się z wartością z równania (28). Nierówność (106) jest spełnioną: $283 > 201 + 28 = 229$ (106). Sposób Dudakow'a. Przyjmuję: $\eta_{max} = 0\cdot72$; v' = prędkość, przy której śmigło osiąga swoją największą sprawność obliczę przy założeniu, że tę sprawność śmigło osiąga przy locie z 60 % mocy. Wielkość spółczynnika oporu c_x dla tego stanu obieram $c_x = 0\cdot06$. Z równania mocy $\eta\, 75\, N' = c_x \frac{\varrho}{2} S_s v'^3$ po podstawieniu $\eta = \eta_{max} = 0\cdot72$, $N' = 0\cdot60 \times 180 = 108$ KM, otrzymamy wtedy $v' = \sim 43\cdot0\ m/sek = \sim 155\ km/godz$. Obliczamy: $c_{xc} = 0\cdot16$ (107), $t_u = \sim 36\ sek$ (81), $L_u = \sim 384\ m$ (82). Sposób Kosourow'a. $t_u = \sim 48\ sek$, $L_u = \sim 510\ m$. Średnio: $t_u = \sim 34\ sek$, $L_u = \sim 395\ m$.

b) Obliczenie długości i czasu startu zespołu: wodnosamolot holujący i wodnoszybowiec holowany przy współdziałaniu jednej rakiety prochowej, umieszczonej w wodnosamolocie lub w wodnoszybowcu.

Przyjmuję te same dane wodnosamolotu i wodnoszybowca, jak w powyższym przykładzie. Obieram siłę pociągową rakiety równą 50 *kg*. Z rozważań, powyżej przeprowadzonych, wynika, że długość i czas startu przy współdziałaniu rakiety nie zależą od tego, czy rakieta jest umieszczona w wodnosamolocie czy w wodnoszybowcu. Przy umieszczeniu rakiety w wodnoszybowcu musi być tylko spełniony warunek, by siła popędowa rakiety była mniejszą od całkowitego oporu wodnoszybowca. Zbadajmy, czy ten warunek jest spełniony w naszych obliczeniach:

$$P_{x\,sz} = \frac{c_{x\,sz}}{2}\, \varrho\, v^2\, S_{sz} \ (24),$$

$$H_{x\,sz} = Q_{sz}\, b_{sz} \left[\frac{v}{v_u} - \left(\frac{v}{v_u}\right)^2\right] (96).$$

Za prędkość „v" przyjmiemy średnią prędkość, równą połowie prędkości oderwania się. Zatem: $P_{x\,sz} = \frac{c_{x\,sz}}{8}\, \varrho\, v_u^2\, S_{sz}$, $H_{x\,sz} = \frac{1}{4} Q_{sz}\, b_{sz}$. Po podstawieniu: $P_{x\,sz} = 11\cdot4\ kg$, $H_{x\,sz} = 51\cdot0\ kg$. Całkowity opór wynosi $62\cdot4\ kg$ i jest większy od siły popędowej rakiety. Długość i czas startu. Wzory Goudża: $p_r = 6\cdot36$ (123*a*), $L_u = \sim 222\ m$ (41), $t_u = \sim 21\ sek$ (42). Wzory Bołchowitinow'a dla dobrych maszyn: $t_u = \sim 14\ sek$ (58), $L_u = \sim 226\ m$ (61). Sposób Dudakow'a. Przyjmuję te same wielkości „η", „v'" i t. p. jak w powyżej przeprowadzonym przykładzie: $t_u = \sim 21\cdot5\ sek$ (119), $L_u = \sim 230\ m$ (82). Sposób Kosourow'a: $t_u = \sim 27\ sek$ (122), $L_u = \sim 284\ m$ (92). Średnio: $t_u = \sim 21\ sek$, $L_u = \sim 240\ m$. Wymiary rakiet dla prochu czarnego wyliczymy z wzorów podanych na początku niniejszej pracy. Zastosujemy 2 rakiety, palące się równocześnie, każda o sile popędowej 25 *kg*. $d = \sim 9\cdot8\ cm = 98\ mm$ (3), $G_s = 0\cdot153\ kg/sek$ (1), $G_c = G_s \times t_u$ średnie $= \sim 3\cdot22\ kg$ (4), $l = 26\ cm$ (6), $G_r = 3\cdot93\ kg$ (7). Oczywiście możnaby przyjąć więcej rakiet o mniejszej sile popędowej każda.

c) Obliczenie długości i czasu startu zespołu: wodnosamolot holujący i wodnoszybowiec holowany przy współdziałaniu rakiet prochowych, umieszczonych w wodnosamolocie i w wodnoszybowcu.

Przyjmuję te same dane dla wodnosamolotu i wodnoszybowca, jak w 2 powyższych przykładach. Ponadto przyjmuję, że w wodnosamolocie i w wodnoszybowcu znajdują się po 4 rakiety o sile popędowej 25 *kg* każda, czyli o łącznej sile popędowej równej 200 *kg*. Długość i czas startu. Wzory Goudża: $P = 200\ kg$ (126), $p_r = 4\cdot4$ (123 *a*), $c = 1\cdot33$ (43), $t_u = \sim 9\cdot5\ sek$ (42), $L_u = \sim 96\ m$ (41); wzory Bołchowitinow'a dla dobrych maszyn: $t_u = \sim 9\cdot0\ sek$ (58), $L_u = \sim 140\ m$ (61). Sposób Dudakow'a przy przyjęciu tych samych wielkości „η", „v'", co w powyższych przykładach: $t_u = \sim 10\ sek$ (119), $L_u = \sim 109\ m$ (82). Sposób Kosourow'a: $t_u = \sim 11\ sek$ (122), $L_u = \sim 120\ m$ (92). Średnio: $t_u = \sim 10\ sek$, $L_u = \sim 116\ m$. Wymiary rakiet: średnica i ciężar sekundowy są obliczone powyżej. $G_c = G_s \times t_u$ średnie $= \sim 1\cdot53\ kg$ (4), $l = \sim 12\cdot5\ cm$ (6), $G_r = \sim 1\cdot87\ kg$ (7).

d) Obliczenie długości i czasu startu zespołu: łódź motorowa holująca i wodnoszybowiec holowany.

Przyjmuję szybowiec o takich samych danych, jak w poprzednich przykładach. Łódź holującą przyjmuję o danych: $N = 300$ KM, $Q_l = 400\ kg$, $b_l = 0\cdot003$, $n = 0\cdot6\ kg/KM$. Mamy: $F_{śr} = 180\ kg$ (28), $P_{x\,śr} = 15\cdot2\ kg$ (87), $H_{l\,x\,śr} = 90\cdot6\ kg$ (131), $H_{x\,śr} = 34$ (88), $\Delta F_{śr} = 40\cdot2\ kg$ (132), $t_u = 40\ sek$ (134), $L_u = 426\ m$ (135).

e) Obliczenie długości i czasu startu zespołu: łódź motorowa holująca i wodnoszybowiec holowany przy współdziałaniu rakiety prochowej, umieszczonej w wodnoszybowcu.

Przyjmuję te same dane, co w poprzednim przykładzie. Szybowiec posiada wmontowane 2 rakiety po 25 *kg* siły popędowej każda. Otrzymujemy: $\Delta F_{śr} = 90\cdot2\ kg$ (136), $t_u = 17\cdot8\ sek$ (134), $L_u = 190\ m$ (135), $G_s = 0\cdot153\ kg/sek$ (1), $G_c = 2\cdot73\ kg$ (4), $G_r = 3\cdot33\ kg$ (7).

Z tych obliczeń można wysnuć pewne wnioski. I tak widzimy, że przy zastosowaniu małych stosunkowo rakiet można skrócić start wodnoszybowca, ciągnionego przez wodnosamolot, o ~ 40 % przy umieszczeniu rakiet tylko w wodnosamolocie lub w wodnoszybowcu, względnie o 70 % przy umieszczeniu rakiet w wodnosamolocie i w wodnoszybowcu. Z porównania punktów 2 i 3 tabeli widać wyraźnie, że lepiej jest stosować rakiety o dużej sile pociągowej (względnie kilka rakiet, pa-

f) Zestawienie wyników i wnioski.

Zestawimy wyniki powyższych obliczeń w tabeli.

	Zespół	Przy współdziałaniu rakiety lub bez	Średnia długość startu *m*	Średni czas startu *sek*	Stosunek długości startu	Stosunek czasów startu	Ciężar rakiet *kg*	Siła popędowa rakiet
1	Wodnosamolot holujący i wodnoszybowiec holowany	Bez rakiety	395	34	100%	100%	—	—
2	Detto	Rakiety umieszczone w wodnosamolocie lub w wodnoszybowcu	240	21	∼61%	∼62 %	2×3·93= 7·86	2×25·0= 50 *kg*
3	Detto	Rakiety umieszczone w wodnosamolocie i w wodnoszybowcu	120	10	∼30%	∼29·5%	8×1·87=14·96	8×25·0=200 *kg*
4	Łódź motorowa i wodnoszybowiec	Bez rakiety	426	40	100%	100%	—	—
5	Łódź motorowa i wodnoszybowiec	Rakiety umieszczone w wodnoszybowcu	190	17·8	∼45%	∼45 %	2×3·33= 6·66	2×25·0= 50 *kg*

W rubryce „stosunek długości startu“ względnie „stosunek czasów startu“ podałem stosunek długości względnie czasu startu przy zastosowaniu rakiety do długości względnie czasu startu bez zastosowania rakiety. Długość i czas startu bez zastosowania rakiety przyjąłem równe 100%.

łących się równocześnie); otrzymuje się wtenczas znacznie krótszy start. Jest to wynik bardzo charakterystyczny dla rakiet, których sprawność jest większą przy krótkotrwałym ruchu o większym przyśpieszeniu niż przy ruchu wolnym o małym przyśpieszeniu. Ciężary rakiet w powyższych przykładach wahały się w granicach $2 \div 4$ *kg*.

Podobny wynik otrzymujemy i w wypadku startu za łodzią motorową. Skrócenie długości startu wynosi około 55 %.

III. Start wodno-motoszybowca przy pomocy rakiety prochowej.

1. Ogólnie.

Wprawdzie koncepcja wodno-motoszybowca nie została dotychczas zrealizowaną, jednakże, ponieważ bezsprzecznie jest ona możliwą do wykonania, więc rozważymy dla całości poniższych obliczeń start i tej wersji motoszybowca. Wzory na długość i czas startu wodnosamolotu zachowają tu również swoją wartość. Jedynie wielkość spółczynnika „*n*“ ulegnie zmianie. Mianowicie konstruktorzy w praktyce przyjmują, że dla silników słabej mocy wielkość orientacyjna tego spółczynnika wynosi:

$$n = 3 \div 3{\cdot}5 \div 4 \; kg/\mathrm{KM}. \quad . \quad . (28\,a)$$

Wartość stosunku $F_0 : Q_s$ będzie znowuż mniejszą. W tym wypadku będzie wynosiła:

$$F_0 : Q_s = \sim 0{\cdot}05 \div 0{\cdot}2. \quad . \quad . (28\,b)$$

Po tych kilku uwagach przejdziemy wprost do przykładów.

2. Tok obliczeń i przykłady obliczeniowe.

a) Obliczenie długości i czasu startu wodno-motoszybowca.

Przyjmuję wodno-motoszybowiec o danych aerodynamicznych i o wadze zbliżonych do danych aerodynamicznych i do wagi motoszybowca ITS VIII: $Q_s = 270\ kg$, $S = 17{\cdot}7\ m^2$; najlepszy kąt natarcia przy starcie dla motoszybowca ITS VIII wynosi $11{\cdot}7^0$. Dla tego kąta: $c_{xs} = 0{\cdot}09$ (względnie 9), $c_{ys} = 1{\cdot}285$. Przyjmuję dalej: $N = 18$ KM, $b_s = 0{\cdot}6$, $c_s = 0{\cdot}03$, $\varrho = \frac{1}{8}$. Przyjmuję ciąg śmigła równy: $F_0 = 3{\cdot}5$, $N = 63\ kg$ (28 *a*), $F_0 : Q_s = 0{\cdot}2$ (28 *b*). Obliczam: $v_u = 13{\cdot}8\ m/sek$ (27). Długość i czas startu. Sposób Goudża: $q = 15{\cdot}3\ kg/m^2$, $k = 3{\cdot}52$, $p = 15\ kg/\mathrm{KM}$, $\varepsilon = 0{\cdot}07$. Zbadamy, czy ciąg śmigła wystarczy do pokonania oporów przy starcie: $H_{x\,max} = 40{\cdot}5\ kg$ (46), $P_{xu} = 18{\cdot}9\ kg$ (49), $F = 63 > 40{\cdot}5 + 18{\cdot}9 = 59{\cdot}4\ kg$ (54). Zatem start jest możliwy $c = 1{\cdot}42$ (43), $t_u = \sim 15\ sek$ (42), $L_u = \sim 110\ m$ (41). Sposób Dudakow'a. Przyjmuję sprawność śmigła: $\eta_{max} = 0{\cdot}75$. Zakładam, że prędkość, przy której śmigło osiąga swoją maksymalną sprawność jest prędkością w locie poziomym na kącie natarcia największej doskonałości. Dla szybowca ITS VIII ten kąt i odnośne spółczynniki wynoszą: $i_o = 5{\cdot}6^0$, $c_{xo} = 0{\cdot}05$, $c_{yo} = 0{\cdot}85$. Przyjmuję odnośną wartość do naszego przykładu i obliczam: $v' = 16{\cdot}9\ m/sek$, $t_u = \sim 10\ sek$ (81), $L_u = \sim 70\ m$ (82). Sposób Kosourow'a: $t_u = \sim 18\ sek$ (91), $L_u = 124\ m$ (92). Średnio: $t_u = 14\ sek$, $L_u = 101\ m$.

b) Obliczenie długości i czasu startu wodno-motoszybowca przy współdziałaniu rakiety prochowej.

Przyjmuję te same dane motoszybowca, co w powyższym przykładzie. Obieram siłę popędową rakiety równą 16 *kg*. Sposób Goudża: $p_r = \sim 12$ (110), $t_u = \sim 9$ *sek* (42), $L_u = \sim 70$ *m* (41). Sposób Dudakow'a: $t_u = \sim 7$ *sek* (119), $L_u = \sim 50$ *m* (82). Sposób Kosourow'a: $t_u = \sim 10$ *sek* (122), $L_u = \sim 70$ *m* (92). Średnio: $t_u = \sim 9$ *sek*, $L_u = \sim 64$ *m*. Wymiary rakiety: $d = \sim 7{\cdot}8$ *cm* (3), $G_s = 0{\cdot}0981$ *kg/sek* (1), $G_c = G_s \times t_{śr} = \sim 0{\cdot}9$ *kg* (4), $l = \sim 11{\cdot}5$ *cm* (6), $G_r = 1{\cdot}1$ *kg* (7).

c) Zestawienie wyników i wnioski.

Z powyższych przykładów widać, że przy użyciu stosunkowo niewielkich rakiet można zmniejszyć długość startu o $\sim 37\,\%$ i czas startu o $\sim 36\,\%$. Ciężary rakiet wypadają względnie zupełnie małe.

Możliwości zastosowania rakiet prochowych w morskim lotnictwie wojskowym i transportowym.

Potrzeba skrócenia długości startu w lotnictwie wodnym może zajść przy starcie z ograniczonych przestrzeni wodnych a więc przede wszystkim z rzek. Ponieważ powyżej omówiłem już wszystkie potrzebne szczegóły, tyczące się obliczenia długości startu, przystępuję wprost do przykładów.

a) Obliczenie długości i czasu startu wojskowego wodno-samolotu.

Obieram za samolot przykładowy wodnosamolot Le O „H — 43" o danych: ciężar w locie 3130 *kg*, powierzchnia nośna 36 m^2, moc silnika 650 KM, szybkość maksymalna przy ziemi 222 *km/godz*. Z braku innych danych obieram: $c_x = 0{\cdot}1$, $c_y = 1$, $\varepsilon = 0{\cdot}1$. Dalej: $n = 1{\cdot}8$, $b = 1$. Sposób Goudża: $k = 4$, $p = 4{\cdot}82$ *kg/KM*, $q = 87$ kg/m^2, $t_u = 25{\cdot}5$ *sek* (42), $L_u = 474$ *m* (41). Z wzorów Bołchowitinow'a dla gorszych maszyn: $t_u = 22$ *sek* (60), $L_u = \sim 500$ *m* (63). Sposób Dudakow'a. Przyjmuję: $\eta\, max = 0{\cdot}8$, $v' = 200$ *km/godz* $= 55{\cdot}6$ *m/sek*, $v_u = 37{\cdot}3$ *m/sek* (27), $t_u = \sim 18$ *sek* (81), $L_u = \sim 350$ *m* (82). Sposób Kosourow'a: $F_0 = nN = 1170$ *kg*, $t_u = 20$ *sek* (91), $L_u = 375$ *m* (92). Średnio: $t_u = 22$ *sek*, $L_u = 425$ *m*.

b) Obliczenie długości i czasu startu wojskowego wodnosamolotu przy współdziałaniu rakiety prochowej.

Przyjmuję siłę popędową rakiet równą 200 *kg*. Poza tym wszystkie dane te same, co w poprzednim przykładzie. Sposób Goudża: $p_r = 4{\cdot}11$ (110), $t_u = 17$ *sek* (42), $L_u = 343$ *m* (41). Wzór Bołchowitinow'a dla gorszych maszyn: $t_u = 15$ *sek* (60), $L_u = 350$ *m* (63). Sposób Dudakow'a: $t_u = 13$ *sek* (119), $L_u = 242$ *m* (82). Sposób Kosourow'a: $t_u = 15$ *sek* (122), $L_u = 280$ *m* (92). Średnio: $t_u = 15$ *sek*, $L_u = 304$ *m*. 8 rakiet à 25 *kg*, $d = 9{\cdot}6$ *cm* (3), $G_s = 0{\cdot}153$ *kg/sek* (1), $G_c = 2{\cdot}3$ *kg* (4), $G_r = 2{\cdot}8$ *kg* (7).

c) Obliczenie długości i czasu startu przeciążonego samolotu transportowego.

Obieram komunikacyjny wodnosamolot transatlantycki typu Martin — 130. Dane: powierzchnia nośna 215 m^2, $Q_s = 23.150$ *kg*, $N = 4 \times 800 = 3200$ KM, szybkość przelotowa 250 *km/godz* $= 69{\cdot}5$ *m/sek*. W braku dalszych danych obieram: $c_x = 0{\cdot}1$, $c_y = 1$, $\varepsilon = 0{\cdot}1$. Dalej: $n = 1{\cdot}8$, $b = 0{\cdot}8$. Przeciążam ten samolot o około $10\,\%$ — przyjmuję więc ciężar $Q_s = 25.000$ *kg*. Sposób Goudża: $k = 4$, $p = 7{\cdot}82$ *kg/KM*, $q = 116$ kg/m^2, $t_u = 315$ *sek* (42), $L_u = 7700$ *m* (41). Wzory Bołchowitinow'a dla średnich maszyn: $t_u = \sim 91$ *sek* (59), $L_u = \sim 2500$ *m* (62). Sposób Kosourow'a: $t_u = 70$ *sek* (91), $L_u = 1510$ *m* (92). Średnio: $t_u = 158$ *sek*, $L_u = 3900$ *m*. Poszczególne wzory dają wyniki bardzo rozbieżne, ale w każdym razie start jest bardzo długi, może nawet praktycznie niewykonalny.

d) Obliczenie długości i czasu startu przeciążonego samolotu transportowego przy współdziałaniu rakiety prochowej.

Obieram ten sam wodnosamolot, co poprzednio, z wbudowanymi rakietami prochowymi o łącznej sile popędowej 400 *kg*. $p_r = 7{\cdot}3$, $t_u = 97$ *sek* (42), $L_u = 875$ (41).

Wzory Bołchowitinowa dla średnich maszyn: $t_u = 61$ *sek* (59), $L_u = 1670$ (62). Sposób Kosourow'a. $t_u = 55$ *sek* (122), $L_u = 1190$ *m* (92). Średnio: $t_u = 71$ *sek*, $L_u = 1240$ *m*. Start praktycznie wykonalny. Wymiary rakiet. Przyjmuję 16 rakiet po 25 *kg* siły popędowej. $d = 9{\cdot}8$ *cm* (3). $G_s = 0{\cdot}153$ *kg/sek* (1), $G_c = 10{\cdot}85$ *kg* (4), $G_r = 13{\cdot}3$ *kg* (7).

e) Zestawienie wyników i wnioski.

Otrzymane wyniki zestawiamy w tabeli.

Wodnosamolot	Z rakietą lub bez	Średnia długość startu *m*	Średni czas startu *sek*	Stosunek długości startu	Stosunek czasów startu	Ciężar rakiet *kg*	Siła popędowa rakiet w *kg*
Wojskowy	Bez	425	22	100%	100%	—	—
Wojskowy	Z rakietą	304	15	71%	68%	8× 2·8 =22·4	8×25=200
Komunikacyjny	Bez	3900	158	100%	100%	—	—
Komunikacyjny	Z rakietą	1670	61	43%	39%	16×10·85=174	16×25=400

Jak widać i w tym wypadku przy zastosowaniu rakiet zyskujemy znacznie na długości i czasie startu.

Zakończenie.

Przeprowadzone obliczenia porównawcze wykazały, że przy współdziałaniu rakiet prochowych zyskujemy znacznie na długości i czasie startu wodnoszybowca czy też wodnosamolotu. Przeciętny zysk na czasie startu waha się w granicach około 40% do 50% ; w podobnych granicach zawiera się zysk na długości startu. W wypadku startu samolotu komunikacyjnego przeciążonego o 10% tylko rakiety w ogóle umożliwiają start; bez użycia rakiet start praktycznie byłby trudny do wykonania. Ciężar rakiet — względnie biorąc, tzn. w stosunku do ciężaru płatowca — wypada dosyć mały.

LITERATURA.

[1]. Zbigniew Leliwa - Krzywobłocki. Możliwości zastosowania rakiet prochowych w lotnictwie. Lwowskie Czasopismo Lotnicze. Nr 10. (Rok IV, 1936. Nr 2). Lwów, w październiku 1936.

[2]. A. Varela Cid. Praktische Erfahrungen mit Wasser - Segelflugzeugen. Mitteilungsblatt Nr 4. (Istus). August. 1935.

[3]. Commend. V. Bonomi. Hydro - planeurs. Mitteilungsblatt. Nr 4. (Istus). August, 1935.

[4]. Dornier - Metallbauten G. m. b. H., Friedrichshafen a. B. Hilfsvorrichtung für den Start von Seeflugzeugen. Patentsammlung des Flugsport Nr 2, 1935.

[5]. Inż. S. Striszewskij. O reaktywnom razgone samoleta. Technika Wozdusznogo Flota. Nr 1, 1934. Moskwa.

[6]. Aerodynamic Theory. A General Review of Progress. William Frederick Durand. Editor - in - Chief. Berlin 1936. I — VI Tom.

[7]. Gustaw Andrzej Mokrzycki. Rozbieg startujących samolotów. Instytut Badań Technicznych Lotnictwa. Sprawozdanie kwartalne. Nr 3. Warszawa 1930.

[8]. Gustaw Andrzej Mokrzycki. Projekt płatowca. Zeszyt I. Wstępny projekt aerodynamiczny. Warszawa 1934.

[9]. Dr Inż. Stefan Neumark. Obliczanie długości startu i lądowania z uwzględnieniem wiatru. Przegląd Lotniczy Nr 1, 1934.

[10]. Alayrac. Etude sur le vol ascendant. La Technique Aéronautique. X. 1914, str. 41.

[11]. E. Everling. Der Aufstieg von Flugzeugen. Z. F. M. 1916, str. 124.

[12]. R. Desmons, Ing. L'Hydravion. Paris.

[13]. Fuchs, Hopf, Seewald. Aerodynamik.

[14]. J. H. Lower. The Hydrodynamics of Marine Aircraft. The Journal of The Royal Aeronautical Society. Vol. XXXVII. Maj 1933.

[15]. R. Verduzio. Bestimmung der Kennlinien für den Abflug von Wasserflugzeugen. Vorträge auf dem Gebiete der Hydro- und Aerodynamik. 1934.

[16]. A. V. Cid. Neue Forschungsergebnisse auf dem Wege zur Entwicklung eines hochseetüchtigen Wasser - Segelflugzeuges. Mitteilungsblatt Nr 5 (Istus). Grudzień 1937.

[17]. K. F. Kosourow. Gidrosamolety, ich morechodnost i rasczet. Leningrad 1935.

[18]. Der „Seeadler" über dem Chiemsee. Der Deutsche Sport - Flieger. 3 Rocznik. Listopad 1936.

[19]. Prof. Mogiliańskij. Wozdusznie porty.

[20]. Otto Köhler, Bremen. Entwerfen von Flugzeug - Schwimmern. Flugsport Nr 2. 1937, str. 35.

[21]. Inż. Hans Jacobs. Neue Entwicklungsarbeiten im Segelflug. Mitteilungsblatt Nr. 5, Istus, Grudzień 1937.

Wydawca: L A P L i I T S M. Pierwsza Związkowa Drukarnia, Lwów, Lindego 4.



Pierwsza Związkowa Drukarnia we Lwowie. ul. Lindego 4.